氣候變遷下 耐鹽水稻的發展

農試所嘉義分所 周思儀 吳永培 廖大經

一、前言

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是全世界重要的糧食作物之一，是供應人類成長發育最主要的能量來源，特別是發展中的國家很多是以水稻為主食，在1970年代綠色革命促使水稻產量有了突破性增加後，之後的數十年，水稻產量的提升便停滯不前，但世界人口數量卻是持續增加，預計在2030年時將達到80億，水稻生產必須增加50%方可滿足人類對糧食的需求，而人口的增加使得一些耕作土地轉變為工業及居住用地，迫使水稻耕作轉移到生產力低的乾旱缺水及土壤鹽化地，使得糧食短缺現象更是雪上加霜，尤其在全球暖化形成之氣候變遷下，導致農產品及原物料的供需失衡，造成全球糧食需求增加，且全球性氣候異常，造成地區性的糧食生產呈現不穩定現象，使糧食大國之出口量銳減，更因生質能源的蓬勃發展，排擠了人類糧食的供應，致使近2年來陸續發生糧食危機，促使研究學者積極投入水稻耐旱性及耐鹽性的相關研究。而目前全球水稻增產最重要的手段以山地陸稻及耐鹽稻有效利用為最佳途徑。透過擴大水稻種植面積達到增加稻米生產量，將是解決貧窮地區糧食來源最根本的方法。由於我國生產經濟系統，深切依賴國際貿易，故無法倖免於農產品供需失衡的影響，對我國而言，其衝擊甚至是國土安全層次課題。台灣為農業易受氣候變遷影響的亞熱帶地區，常因特殊地形而致降雨量分配不均及土壤日漸鹽化，因此，為有助於穩定未來糧食生產，育成一般環境下可栽培利用，而在氣候變遷環境下可維持一定稻穀產量的水稻耐鹽新品種，將可確保台灣糧食安全的重要供應。

水稻是鹽分敏感的作物，整個生長發育過程均受到鹽害的影響，特別是營養生長期之早期和生殖生長期之晚期，所以耕作土壤的鹽化將會影響水稻的生長，世界

作　　者：周思儀助理研究員
連絡電話：05-2753181

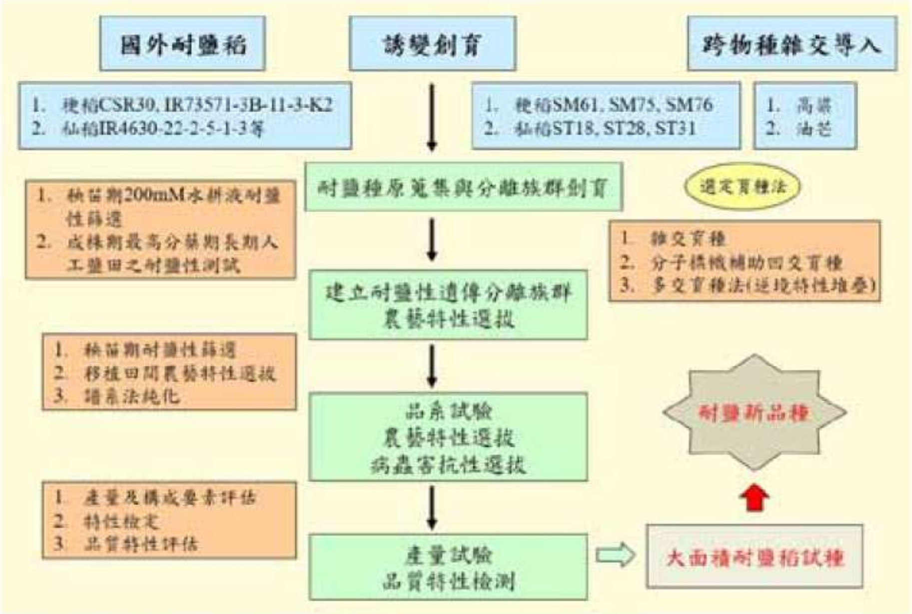
上約有30%水稻生長地因此種非生物逆境因素，使得水稻產量無法有效提升。而氯化鈉 (NaCl) 是土壤發生鹽害的主要鹽分，所以在水稻耐鹽逆境的研究過程中，幾乎均利用添加氯化鈉來模擬鹽分逆境之環境，已有多篇研究報告針對國內外常見的水稻品種進行對鹽分逆境反應的評估，而利用品種間在耐鹽程度的差異及反應，進而找出水稻耐鹽之遺傳、生理代謝及其改良之途徑。一般而言水稻秧苗生長期內外環境Na^+濃度與其耐鹽性為負相關，在鹽分逆境下，會表現出秧苗株高生長緩慢、幼苗乾重與根乾重減少等性狀，其中根乾重減少的反應最為顯著，此特性可做為測定水稻品種在秧苗期之耐鹽性的參考指標。而植物耐鹽表現除了農藝性狀上的反應外，也牽涉多個生理過程，包含了Na^+的吸收與排除、離子的平衡 (尤其是Na^+/K^+的比率)，以及植體內離子的分布情形，植株內過多Na^+的累積會造成植株的毒害，而K^+除了維持植株離子的平衡外，在水稻秧苗期也扮演活化耐鹽相關酵素的重要角色，因此水稻植株在秧苗期，越低的Na^+含量與越高的K^+含量，其耐鹽等級的表現會越高，另外在鹽分逆境下，秈稻品種比稉稻有較高的能力將Na^+排出，故秈稻相對稉稻有較高的耐鹽性。

二、分子標誌輔助耐鹽稻育種

隨著水稻基因的解序研究，已大量開發且利用各種分子標誌於水稻育種上，藉以提高育種效率及準確性。因此，透過各種類型的分子標誌對水稻進行育種，具備可更省力且更有效率的選拔優良植株，且能縮短育種年限，不受環境因素所干擾，減少田間種植數量、人力和物力的耗費等優點。在水稻耐鹽性上亦可運用分子標誌來進行選拔，由於水稻耐鹽性極易受到各種環境因素影響，像是溫度、光照、水分、濕度、土壤成分含量等各種環境因子，利用分子標誌輔助育種，將耐鹽性基因或QTLs導入到栽培品種中，將可降低這些環境因素的干擾。此外，由於自然突變率低，使生物變異的速度緩慢，因此利用物理和化學等誘變手段已成為增加遺傳變異的常用方法之一。由於誘變育種在育種過程較為簡便易行，具創造特殊而多樣化性狀的能力(如生育期、株高、品質特性、耐逆境等)，後代穩定速度亦相當快，因此，農試所嘉義分所自2007年開始利用甲基磺酸乙酯 (Ethyl methyl sulfone, EMS) 對CNY911303進行誘變，誘變族群於M_5世代選出農藝性狀表現優良之1005株，其後以譜系法進行純化，成為1005個M_6誘變品系，並進行耐鹽性篩選，在水稻幼苗3葉齡時期以150mM氯化鈉溶液進行鹽分逆境處理，最後選出8個耐鹽品系 (SM61、SM75、SM76、SM77、SM104、SM105、SM119、SM143) 與3個感鹽品系 (SM126、SM129、SM332)，這些材料再透過分子標誌輔助選拔技術，將耐鹽特性轉移至IR64及具耐旱性水稻品種中，

並於台南鹽化土地實地栽培測試，結果發現耐鹽水稻生長發育正常，如圖一 所示。其分子標誌輔助選拔流程如圖二所示。

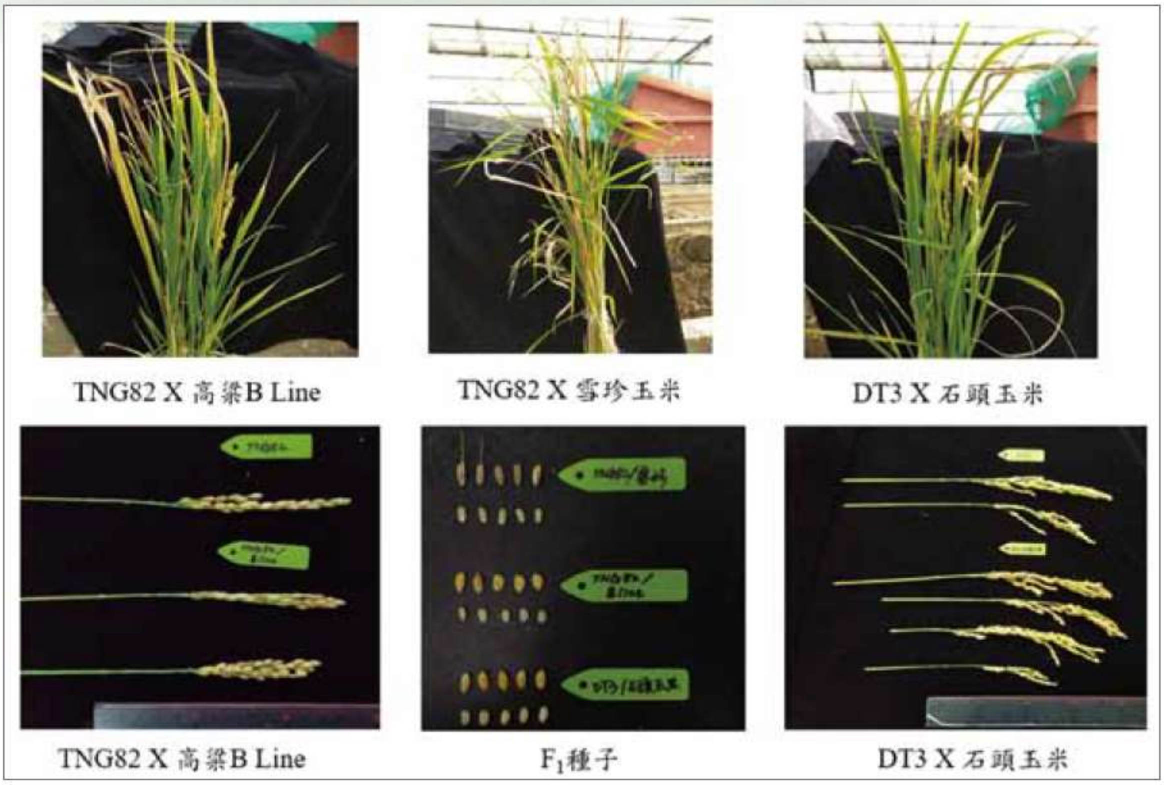
圖一、耐鹽稻品系 (右) 與IR64 (對照品種) 於鹽化土地 (EC6-8 dS m^{-1}) 實際栽培生長發育情況。



圖二、 耐鹽水稻之育種策略流程圖。

三、耐鹽稻未來的發展

土壤鹽化是世界上的嚴重問題之一，尤其是在乾旱、半乾旱和熱帶地區，係因這些地區水分蒸發量高，雨水少，易形成鹽土，使約有三分之一的灌溉地和重要的土地在乾旱、半乾旱和熱帶地區因鹽害問題而無法利用。依美國農業部 (USDA) 訂定之標準，土壤飽和抽出液電導度 (electrical conductivity, EC) ≥ 4 dS m^{-1} 稱為鹽土，而EC值大於8 dS m^{-1}為高度鹽化土壤，一般以含氯化鈉和硫酸鈉 (Na_2SO_4) 為主。鹽化土壤 (或鹽鹼土) 都係自然產生，然近年來由於氣候變遷、土



圖三、水稻 (母本) 與高粱、玉米 (父本) 跨物種雜交後F_1植株、稻梗與穀粒圖示。

地耕作方式或因人為不當之灌溉或肥料施用等使農田土壤日漸鹽化，已成為作物生產的重要限制因子。台灣地處亞熱帶地區，農業上容易受氣候變化影響，尤其常會因降雨量分配不平均，造成土壤易發生劣化現象，近年來更因經濟開發使得需水量大幅提升而致超抽地下水，台灣西南沿海地區及東部宜蘭地區發生地層下陷或海水入侵地下水層等問題，使得鹽化土地面積逐日擴大，嚴重影響了作物收穫量與農民收益，尤其近年來發展設施農業，缺乏雨水淋洗土壤中鹽類的情形，也讓土壤的鹽化問題逐步浮出檯面。因此選育對鹽分地具有耐受性的水稻品種，乃成為育種者未來面臨的重大挑戰，尤其目前全球已發表之耐鹽稻大致上無法耐受EC值大於8 dS m^{-1}的鹽化土壤，此一現象大幅限縮了耐鹽稻的實際用途，因此若能藉由跨物種雜交，將不同物種的耐鹽性，諸如高粱、油芒等引入水稻，如圖三所示為農試所利用水稻為母本，高粱及玉米為父本，透過跨物種雜交操作成功培育出雜交後代，未來可透過後代耐鹽性及耐旱性選拔，選育能忍受鹽化及乾旱土壤極限的水稻新品種，如此便能利用耐鹽稻及旱作水稻來大幅擴增總生產面積及產量，因應日益增加的全球人口在糧食的需求。